

**Fernando Ney da Costa
Nascimento**

**Um Serviço para Inferência
de Localização de
Dispositivos Móveis Baseado
em Redes IEEE 802.11**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

Programa de Pós-graduação em

Informática

Rio de Janeiro
Agosto de 2005



Fernando Ney da Costa Nascimento

**Um Serviço para Inferência de Localização
de Dispositivos Móveis Baseado em Redes
IEEE 802.11**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio

Orientador: Prof. Markus Endler

Rio de Janeiro
Agosto de 2005



Fernando Ney da Costa Nascimento

**Um Serviço para Inferência de Localização
de Dispositivos Móveis Baseado em Redes
IEEE 802.11**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Markus Endler

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Noemi de La Rocque Rodriguez

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. José Ferreira de Rezende

Programa de Engenharia Elétrica — COPPE / UFRJ

Prof. Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico —
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 08 de Agosto de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Fernando Ney da Costa Nascimento

Graduou-se em Ciências da Computação na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) em fevereiro de 2003. É especialista em Sistemas em Tempo Real para Otimização e Automação no Setor Petróleo & Gás. Foi bolsista de iniciação científica do Programa Especial de Treinamento em Ciências da Computação (PET-CC) e do Programa de Recursos Humanos da ANP.

Ficha Catalográfica

Nascimento, Fernando Ney da Costa

Um Serviço para Inferência de Localização de Dispositivos Móveis Baseado em Redes IEEE 802.11/ Fernando Ney da Costa Nascimento; orientador: Markus Endler. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2005.

v., 74 f: il. ; 29,7 cm

1. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Localização. 3. Intensidade de Sinal. 4. IEEE 802.11. 5. Dispositivos Móveis. I. Endler, Markus. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Agradecimentos

Agradeço a meus pais e irmãos, pelo amor, carinho e apoio durante essa jornada.

A Mércia que, mesmo sem sua presença física, soube me apoiar, e principalmente pela paciência.

Ao pessoal do LAC, pelo companheirismo, amizade e ajuda.

Ao professor Markus Endler pelos conselhos e ajuda bastante valiosos.

Aos meus colegas da PUC-Rio e do Rio de Janeiro, que me fizeram adorar este lugar.

A CAPES e à FAPERJ, pelo fomento de bolsas durante este trabalho.

Resumo

Nascimento, Fernando Ney da Costa; Endler, Markus. **Um Serviço para Inferência de Localização de Dispositivos Móveis Baseado em Redes IEEE 802.11**. Rio de Janeiro, 2005. 74p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Dispositivos portáteis e redes sem fio vem tornando-se cada vez mais populares e comuns em nosso dia-a-dia, criando assim uma demanda pelo desenvolvimento de serviços e aplicações sensíveis à localização. Em paralelo, houve o desenvolvimento de diversas tecnologias de localização para viabilizar tais serviços, sendo o *GPS* a mais difundida. O principal problema desta e de várias outras tecnologias é que requerem a implantação de uma infra-estrutura específica para a localização, como por exemplo, sensores e satélites, o que aumenta o seu custo ou limita a sua aplicabilidade. Por isto, técnicas de localização que se baseiam exclusivamente na própria infra-estrutura de rede sem fio têm sido bastante exploradas.

Neste trabalho apresentamos um serviço para a localização de dispositivos móveis baseado na intensidade de sinal (de radio frequência) de pontos de acesso de redes IEEE 802.11. Verificamos também a viabilidade de seu uso para aplicações que demandam a informação de localização em termos de regiões simbólicas (ao invés de coordenadas) e com uma tolerância de erro de poucos metros. O serviço permite também o aninhamento dessas regiões para a formação de regiões maiores, criando o conceito de uma hierarquia de regiões simbólicas.

Palavras-chave

localização, intensidade de sinal, IEEE 802.11, dispositivos móveis

Abstract

Nascimento, Fernando Ney da Costa; Endler, Markus. **A Location Inference Service for Mobile Devices Based on IEEE 802.11 Networks**. Rio de Janeiro, 2005. 74p. MSc. Dissertation — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Portable devices and wireless networks are becoming common place in our daily lives. This has created a demand for the development of location-based services and applications, i.e. Location-based Services. In parallel, several positioning technologies enabling such services have been developed, where *GPS* is the most popular one. The main drawback of this and other technologies is that they require the deployment of a specific infra-structure for the positioning, such as sensors and satellites, which in turn raises their cost or restricts their applicability. Therefore, other positioning technologies, which are based merely on the wireless infra-structure, have been explored. In this work we present a service which infers the location of mobile devices using the radio-frequency signal strength of Access Points of IEEE 802.11 wireless networks. We have also verified the viability of its use by applications that require location information in terms of symbolic regions, instead of coordinates, and which tolerate inference errors of a few meters. The service also supports the aggregation of regions into larger symbolic regions using the notion of a hierarchy of symbolic regions.

Keywords

location inference, RSSI, IEEE 802.11, mobile devices

Sumário

1	Introdução	11
2	Fundamentos	15
2.1	Inferência de Localização	15
2.2	A Representação do Espaço e do Sinal	17
2.3	Multiple Nearest Neighbor	18
2.4	Método do Histograma	19
3	Trabalhos Relacionados	22
4	Serviço de Inferência de Localização	30
4.1	Infra-Estrutura de Apoio	30
4.2	Regiões Simbólicas	32
4.2.1	Mapeamento entre Pontos de Referência e Regiões Simbólicas	32
4.2.2	Regiões Simbólicas Hierárquicas	33
4.3	Arquitetura	35
4.4	Interface para Consultas	43
4.5	Considerações Finais	44
5	Testes	47
5.1	Cenários de Teste	47
5.2	Testes de Precisão	48
5.2.1	Variações Temporais na Intensidade do Sinal	49
5.2.2	Influência do Número de Vizinhos	50
5.2.3	Influência do Número de Varreduras	52
5.2.4	Influência do Número de Pontos de Acesso	56
5.2.5	Testes em Ambiente Externo	58
5.3	Testes de Desempenho e Escalabilidade	59
5.3.1	Em Relação ao Número de Clientes Simultâneos	60
5.3.2	Em Relação ao Número de Monitores	61
5.4	Aplicações	62
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	64
7	Referências Bibliográficas	67
A	Interface de Consulta	72
A.1	Interface de Comunicação Síncrona	72
A.2	Interface de Comunicação Assíncrona	73

Lista de Figuras

2.1	Estratégia utilizada para inferência da localização.	19
2.2	Exemplo de histograma.	20
4.1	Diagrama da hierarquia de regiões da PUC-Rio.	34
4.2	Interação entre os elementos da infra-estrutura do LIS.	35
4.3	Principais componentes da arquitetura do LIS.	36
4.4	Diagrama de classes de hierarquia e região.	43
4.5	Arquitetura revisada do LIS para incorporação de <i>GPS</i> .	45
5.1	Probabilidades da intensidade de sinal para 10, 100 e 1.000 varreduras em um ponto de acesso.	50
5.2	Influência do número de vizinhos na percentagem de acerto da região.	51
5.3	Influência do número de varreduras na inferência na percentagem de acerto da região.	52
5.4	Influência do número de varreduras no mapeamento na percentagem de acerto da região.	54
5.5	Influência do número de varreduras no mapeamento com 10, 15 e 25 varreduras na inferência na percentagem de acerto da região.	55
5.6	Classificação dos pontos de acesso em relação à precisão da inferência.	57
5.7	Influência do número de pontos de acesso na precisão.	58
5.8	Influência do número de varreduras na inferência na percentagem de acerto da região para o cenário "Espaço Aberto".	59
5.9	Efeito do número de requisições simultâneas no tempo de resposta.	60
5.10	Efeito do número de monitores no tempo de processamento do cálculo da inferência.	61

Lista de Tabelas

3.1	Comparação entre sistemas baseados em redes IEEE 802.11.	29
5.1	Influência do número de vizinhos no erro percentil.	51
5.2	Influência do número de varreduras na inferência no erro percentil.	53
5.3	Influência do número de varreduras no mapeamento no erro percentil.	55
5.4	Influência do número de varreduras no mapeamento com 10, 15 e 25 varreduras na inferência no erro percentil em 95%.	56

Procure ser uma pessoa de valor, em vez de ser uma pessoa de sucesso.

Atribuído à Albert Einstein.